

[成分分析]

碟花金丝桃 xanthones 类成分及其抑菌活性研究

黄 洁^{1,2}, 黄思齐^{1,2}, 滕立平^{1,2,3,4*}, 周忠波^{1,2,3,4*}

(1. 右江民族医学院广西病原微生物耐药防控科技创新合作基地, 广西 百色 533000; 2. 广西壮族自治区边疆民族地区耐药微生物临床防治技术及先导药物工程研究中心, 广西 百色 533000; 3. 广西高校右江流域特色民族药研究重点实验室, 广西 百色 533000; 4. 右江民族医学院生物医药与大健康现代产业学院, 广西 百色 533000)

摘要: **目的** 研究碟花金丝桃 *Hypericum addingtonii* N. Robson 中 xanthones 类成分及其抑菌活性。**方法** 90% 乙醇提取物采用硅胶、Sephadex LH-20、ODS 及制备型 HPLC 进行分离纯化, 根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物的结构。采用微量稀释法评价抑菌活性。**结果** 从中分离得到 15 个 xanthones 类化合物, 分别鉴定为 hyperxanthone E (**1**)、5-hydroxy-2-methoxyxanthone (**2**)、2-羟基氧杂蒽酮 (**3**)、6-*O*-methyl-2-deprenylrheediaxanthone B (**4**)、toxyloxanthone B (**5**)、1, 7-dihydroxyxanthone (**6**)、2-methoxy-3-hydroxyxanthone (**7**)、2, 3-dimethoxyxanthone (**8**)、1, 5-dihydroxy-6, 7-dimethoxyxanthone (**9**)、1, 3, 5-trihydroxyxanthone (**10**)、1, 3, 7-trihydroxyxanthone (**11**)、1, 7-dihydroxy-3-methoxyxanthone (**12**)、3-methoxy-5'-demethoxycadesin G (**13**)、1, 5-dihydroxy-2-methoxyxanthone (**14**)、1, 7-二羟基-6-甲氧基氧杂蒽酮 (**15**)。化合物 **1~15** 对紫色色杆菌 *Chromobacterium violaceum* ATCC12472 和铜绿假单胞菌 *Pseudomonas aeruginosa* 的 MIC 值均大于 500 $\mu\text{g/mL}$, 其中化合物 **1**、**7**、**10** 和 **13** 在质量浓度为 250 $\mu\text{g/mL}$ 时, 对紫色色杆菌色素形成的抑制率分别为 88.35% $\pm$ 3.05%、81.61% $\pm$ 2.67%、93.04% $\pm$ 4.20%、84.51% $\pm$ 3.11%。**结论** 化合物 **1~15** 均为首次从碟花金丝桃中分离得到。化合物 **1**、**7**、**10** 和 **13** 对紫色色杆菌色素形成具有抑制作用。

关键词: 碟花金丝桃; xanthones; 分离鉴定; 紫色色杆菌; 铜绿假单胞菌; 群感效应; 抑菌活性

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-1528(2026)08-2612-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2026.08.015

Xanthones from *Hypericum addingtonii* and their antibacterial activity

HUANG Jie^{1,2}, HUANG Si-qi^{1,2}, TENG Li-ping^{1,2,3,4*}, ZHOU Zhong-bo^{1,2,3,4*}

(1. Guangxi Technology Innovation Cooperation Base of Prevention and Control Pathogenic Microbes with Drug Resistance, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, China; 2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Engineering Research Center of Clinical Prevention and Control Technology and Leading Drug for Microorganisms with Drug Resistance in Border Ethnic Areas, Baise 533000, China; 3. Key Laboratory of Characteristic Ethnic Medicine Research in the Youjiang River Basin of Guangxi Universities, Baise 533000, China; 4. Modern Industrial College of Biomedicine and Great Health, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, China)

ABSTRACT: **AIM** To study the xanthones from *Hypericum addingtonii* N. Robson and their antibacterial activity. **METHODS** The 90% ethanol extract was isolated and purified by silica gel, Sephadex LH-20, ODS and preparative HPLC, then and the structures of the obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data. The microdilution method was applied to evaluate the antibacterial activity. **RESULTS** Fifteen xanthones were isolated and identified as hyperxanthone E (**1**), 5-hydroxy-2-methoxyxanthone (**2**), 2-hydroxyxanthone (**3**), 6-*O*-methyl-2-deprenylrheediaxanthone B (**4**), toxyloxanthone B (**5**), 1, 7-dihydroxyxanthone (**6**), 2-methoxy-3-hydroxyxanthone (**7**), 2, 3-dimethoxyxanthone (**8**), 1, 5-dihydroxy-6, 7-dimethoxyxanthone (**9**), 1, 3, 5-trihydroxyxanthone (**10**), 1, 3, 7-trihydroxyxanthone (**11**), 1, 7-dihydroxy-

收稿日期: 2025-12-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32360110); 广西自然科学基金项目 (2025GXNSFHA069027)

作者简介: 黄 洁 (2001—), 女, 硕士在读, 从事天然活性成分研究。E-mail: 2421047824@qq.com

* 通信作者: 滕立平 (1977—), 女, 硕士, 教授, 从事天然活性成分研究。E-mail: tengliping2005@163.com

周忠波 (1978—), 男, 博士, 教授, 从事天然活性成分及其作用机制研究。E-mail: zzb7855@163.com

3-methoxyxanthone (**12**), 3-methoxy-5'-demethoxycadesin G (**13**), 1, 5-dihydroxy-2-methoxyxanthone (**14**) and 1, 7-dihydroxy-6-methoxyxanthone (**15**). The MIC values of compounds **1** – **15** against *Chromobacterium violaceum* ATCC12472 and *Pseudomonas aeruginosa* were all greater than 500 μg/mL. Among them, at a mass concentration of 250 μg/mL, the inhibition rates of compounds **1**, **7**, **10** and **13** on the pigment production of *C. violaceum* were 88.35% ± 3.05% , 81.61% ± 2.67% , 93.04% ± 4.20% and 84.51% ± 3.11% , respectively.

CONCLUSION Compounds **1**–**15** are isolated from *H. addingtonii* for the first time. Compounds **1**, **7**, **10** and **13** exhibit certain inhibitory activity on the pigment production of *C. violaceum*.

KEY WORDS: *Hypericum addingtonii* N. Robson; xanthones; isolation and identification; *Chromobacterium violaceum*; *Pseudomonas aeruginosa*; quorum sensing; antibacterial activity

近年来, 新型抗生素研发速度相对滞后且作用靶点稀缺, 导致耐药性在临床常见致病菌中持续扩散, 严重影响感染性疾病的治疗效果^[1]。以鲍曼不动杆菌、铜绿假单胞菌为代表的“ESKAPE”病原菌是院内感染防控的重点对象^[2]。在对抗耐药菌的研究中, 针对细菌群感效应的干预策略展现出独特优势。群感效应是细菌通过信号分子调控毒力因子表达、生物膜形成等关键生理过程的细胞间通讯系统, 其抑制剂并非直接杀伤细菌, 而是通过干扰致病性相关过程降低细菌危害, 这一作用机制可有效减少细菌耐药选择压力, 避免耐药性进一步加剧, 为抗耐药菌研究提供了全新方向^[3]。目前, 从中药资源中筛选群感效应抑制剂成为开发天然抗菌药物的新策略, 已发现的天然群感效应抑制剂包括黄酮类、生物碱类、萜类等^[4-5]。研究表明, 金丝桃科金丝桃属植物中富含 xanthones, 这是一种具有二苯并-γ-吡喃酮母核的杂环化合物, 表现出显著的群感效应抑制活性^[6-9]。碟花金丝桃 *Hypericum addingtonii* N. Robson 作为金丝桃属植物的一员, 主要分布于我国云南西部及西北部的竹丛、灌丛草地及铁杉林缘^[10], 其独特的地理分布与生长环境可能赋予其独特的次生代谢产物, 然而其化学成分与生物活性迄今未见报道。鉴于此, 本研究拟对碟花金丝桃中 xanthones 类成分进行分离鉴定, 并评价其群感效应抑制活性, 为进一步挖掘金丝桃属植物群感效应抑制剂以及抗菌药物开发提供实验依据。

1 材料

制备型高效液相色谱仪 (型号 LC-20AR, 日本 Shimadzu 公司); 核磁共振谱仪 (型号 AV-400、AV-500、AV-600, 德国 Bruker 公司); Agilent 6546 UPLC-Q-TOF-MS (美国 Agilent 公司)。Sephadex LH-20 (美国 Pharmacia 公司); 柱层析硅胶 (200~300 目, 青岛海洋化工有限公司); ODS

(40~63 μm, 日本 Fuji 公司)。甲醇、乙腈 (色谱纯, 河北百灵威超精细材料有限公司); 其余试剂均为国产分析纯。

样品于 2018 年 12 月采集于云南省西北部, 经右江民族医学院周忠波教授鉴定为金丝桃属植物碟花金丝桃 *Hypericum addingtonii* N. Robson, 凭证标本 (编号 TLM-201903) 存放于右江民族医学院药学院标本库中。

2 提取与分离

取碟花金丝桃干燥根茎 20.0 kg, 粉碎后加入 90% 乙醇 1 200 L, 热回流法提取, 回收溶剂得浸膏 1 743.2 g。浸膏用水分散后, 用乙酸乙酯进行萃取, 得乙酸乙酯提取物 (983.8 g)。乙酸乙酯提取物加入乙酸乙酯, 搅拌成粗浸膏状, 后与 1 500 g 硅胶 (200~300 目) 搅拌混匀后烘干, 用石油醚-乙酸乙酯 (10 : 1 ~ 1 : 1) 和乙醇洗脱, 得到 Fr. 1~Fr. 4。

Fr. 2 (30.5 g) 通过 ODS 柱层析, 以 50%、70%、90%、100% 甲醇洗脱, 得到 Fr. 2.1 ~ Fr. 2.4。Fr. 2.2 (5.5 g) 采用硅胶柱分离, 以石油醚-丙酮 (20 : 1 ~ 7 : 1) 梯度洗脱, 得到 Fr. 2.2.1~Fr. 2.2.6, Fr. 2.2.4 经制备 HPLC (检测波长 254、300 nm, 体积流量 10 mL/min) 分离, 以甲醇-水 (60 : 40) 洗脱, 得到化合物 **1** (8 mg, t_R = 30.5 min)、**2** (12.7 mg, t_R = 15.6 min)、**3** (4.6 mg, t_R = 50.2 min)、**5** (4.3 mg, t_R = 23.3 min); Fr. 2.2.5 经 Sephadex LH-20 凝胶柱分离, 以二氯甲烷-甲醇 (1 : 1) 洗脱, 得到 Fr. 2.2.5.1~Fr. 2.2.5.7; Fr. 2.2.5.6 和 Fr. 2.2.5.7 经制备 HPLC (检测波长 254、300 nm, 体积流量 10 mL/min) 分离, 以甲醇-水 (65 : 35) 洗脱, 得化合物 **4** (9.6 mg, t_R = 30.6 min)、**6** (2.4 mg, t_R = 19.1 min)、**7** (4.4 mg, t_R = 37.6 min)、**8** (2.7 mg, t_R = 60.2 min)。

Fr. 2. 3 (9. 6 g) 采用硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯(9: 1~5: 1) 梯度洗脱, 得到 Fr. 2. 3. 1~Fr. 2. 3. 6, Fr. 2. 3. 4 经制备 HPLC (检测波长 254、300 nm, 体积流量 10 mL/min) 分离, 以甲醇-水(65: 35) 洗脱, 得到化合物 **9** (1. 7 mg, t_R = 16. 3 min)、**11** (10. 6 mg, t_R = 22. 6 min)、**13** (5. 5 mg, t_R = 30. 5 min)、**14** (41. 5 mg, t_R = 25. 6 min); Fr. 2. 3. 5 经 Sephadex LH-20 凝胶柱分离, 以二氯甲烷-甲醇(1: 1) 洗脱, 得到 Fr. 2. 3. 5. 1~Fr. 2. 3. 5. 8, Fr. 2. 3. 5. 8 经制备 HPLC (检测波长 254、300 nm, 体积流量 10 mL/min) 分离, 以乙腈-水(40: 60) 洗脱, 得到化合物 **10** (5. 3 mg, t_R = 12. 6 min)、**12** (3. 4 mg, t_R = 27. 2 min)、**15** (2. 8 mg, t_R = 20. 0 min)。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 351. 084 1 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 6. 72 (1H, s, H-4), 13. 55 (1H, s, 8-OH), 6. 09 (1H, s, H-7), 6. 24 (1H, s, H-5), 3. 34 (2H, t, J = 6. 0 Hz, H-2'), 1. 77 (2H, t, J = 6. 2 Hz, H-3'), 1. 29 (6H, s, $2\times 1'$ -CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 181. 4 (C-9), 164. 5 (C-1), 162. 8 (C-3), 156. 4 (C-4b), 154. 4 (C-4a), 152. 4 (C-6), 139. 7 (C-7), 120. 9 (C-8), 109. 1 (C-8a), 102. 1 (C-9a), 100. 8 (C-5), 97. 7 (C-2), 92. 9 (C-4), 73. 5 (C-3'), 32. 0 (C-1'), 26. 1 ($2\times 1'$ -CH₃), 22. 3 (C-2')。以上数据与文献 [11] 基本一致, 故鉴定为 hyperxanthone E。

化合物 **2**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 243. 243 0 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7. 64 (1H, d, J = 9. 1 Hz, H-1), 7. 32 (1H, dd, J = 7. 8, 1. 5 Hz, H-4), 7. 25 (1H, t, J = 7. 8 Hz, H-7), 7. 61 (1H, dd, J = 7. 9, 1. 5 Hz, H-8), 7. 56 (1H, d, J = 3. 1 Hz, H-6), 3. 88 (3H, s, 2-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 176. 0 (C-9), 155. 7 (C-2), 150. 1 (C-5), 146. 6 (C-4b), 145. 2 (C-4a), 124. 7 (C-9a), 123. 9 (C-8a), 121. 6 (C-1), 121. 3 (C-8), 119. 9 (C-6), 119. 8 (C-3), 115. 2 (C-4), 55. 7 (2-OCH₃), 105. 7 (C-7)。以上数据与文献 [12] 基本一致, 故鉴定为 5-hydroxy-2-methoxyxanthone。

化合物 **3**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z :

213. 055 4 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (500 MHz, DMSO- d_6) δ : 8. 18 (1H, dd, J = 7. 9, 1. 5 Hz, H-6), 7. 55 (1H, d, J = 9. 0 Hz, H-3), 7. 64 (1H, d, J = 8. 4 Hz, H-5), 7. 85 (1H, ddd, 3H, J = 8. 6, 7. 2, 1. 7 Hz, H-8), 7. 33 (1H, dd, J = 9. 0, 3. 0 Hz, H-4), 7. 48 (1H, d, J = 3. 0 Hz, H-7), 7. 45 (1H, t, J = 7. 5 Hz, H-1); ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 175. 9 (C-9), 108. 5 (C-1), 155. 6 (C-4b), 154. 0 (C-2), 149. 2 (C-4a), 135. 2 (C-6), 125. 9 (C-8), 124. 6 (C-3), 118. 1 (C-5), 124. 0 (C-7), 120. 5 (C-8a), 121. 7 (C-9a), 119. 5 (C-4)。以上数据与文献 [13] 基本一致, 故鉴定为 2-羟基氧杂萸酮。

化合物 **4**: 白色粉末, HR-ESI-MS m/z : 365. 099 8 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (500 MHz, DMSO- d_6) δ : 13. 41 (1H, s, 1-OH), 6. 96 (1H, d, J = 8. 8 Hz, H-7), 6. 23 (1H, s, H-2), 4. 58 (1H, q, J = 6. 5 Hz, H-2'), 1. 26 (3H, s, 1'-CH₃), 3. 87 (3H, s, 6-CH₃), 1. 56 (3H, s, 1'-CH₃), 7. 72 (1H, d, J = 8. 8 Hz, H-8); ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 179. 3 (C-9), 165. 3 (C-3), 163. 4 (C-4a), 158. 3 (C-6), 152. 2 (C-5), 150. 3 (C-1), 134. 5 (C-4b), 121. 1 (C-8), 114. 6 (C-4), 112. 8 (C-8a), 112. 2 (C-9a), 102. 2 (C-7) 93. 1 (C-2), 90. 4 (C-2'), 14. 1 (1'-CH₃), 60. 8 (6-OCH₃), 43. 2 (C-1'), 25. 1 (2'-CH₃), 21. 2 (1'-CH₃)。以上数据与文献 [14] 基本一致, 故鉴定为 6-O-methyl-2-deprenylrheediaxanthone B。

化合物 **5**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 349. 061 2 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 6. 26 (1H, d, J = 2. 2 Hz, H-2), 13. 40 (1H, s, 1-OH), 6. 75 (1H, s, H-5), 6. 11 (1H, d, J = 2. 2 Hz, H-3), 5. 90 (1H, d, J = 10. 2 Hz, H-2'), 1. 39 (6H, s, $2\times 3'$ -CH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 181. 3 (C-9), 164. 8 (C-1), 162. 9 (C-3), 162. 9 (C-8), 156. 6 (C-6), 154. 3 (C-4a), 152. 7 (C-4b), 138. 5 (C-7), 132. 7 (C-2'), 75. 1 (C-3'), 120. 4 (C-5), 119. 6 (C-8a), 26. 7 (3'-CH₃), 106. 5 (C-9a), 97. 9 (C-2), 93. 1 (C-4) 102. 7 (C-1')。以上数据与文献 [15] 基本一致, 故鉴定为 toxyloxanthone B。

化合物 **6**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z :

229.049 5 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.32 (1H, dd, $J=9.0, 3.0$ Hz, H-4), 6.97 (1H, d, $J=8.4$ Hz, H-5), 7.54 (1H, d, $J=2.9$ Hz, H-6), 7.45 (1H, d, $J=9.0$ Hz, H-8), 6.74 (1H, d, $J=8.2$ Hz, H-2); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 183.5 (C-9), 162.9 (C-1), 157.9 (C-7), 155.6 (C-4a), 151.5 (C-4b), 137.9 (C-3), 109.3 (C-4), 126.4 (C-6), 122.2 (C-5), 109.5 (C-9a), 120.3 (C-8a), 108.1 (C-8), 110.7 (C-2)。以上数据与文献 [16] 基本一致, 故鉴定为 1, 7-dihydroxyxanthone。

化合物 7: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 243.069 0 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (500 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.48 ~ 7.42 (2H, m, H-1, 7), 7.82 (1H, ddd, $J=8.7, 7.1, 1.7$ Hz, H-8), 8.15 (1H, dd, $J=7.9, 1.6$ Hz, H-6), 3.95 (3H, s, 1-OCH₃), 7.61 (1H, d, $J=8.4$ Hz, H-5), 7.19 (1H, s, H-4); ^{13}C -NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 174.7 (C-9), 155.5 (C-1), 108.2 (C-2), 155.0 (C-3), 150.9 (C-4a), 144.5 (C-4b), 134.5 (C-6), 100.3 (C-4), 125.8 (C-8), 124.0 (C-7), 120.8 (C-5), 117.9 (C-8a), 56.3 (2-OCH₃), 114.3 (C-9a)。以上数据与文献 [17] 基本一致, 故鉴定为 2-methoxy-3-hydroxyxanthone。

化合物 8: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 257.025 0 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.64 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5), 7.84 (1H, ddd, $J=8.6, 7.1, 1.7$ Hz, H-6), 7.51 (1H, s, H-4), 3.90 (3H, s, 2-OCH₃), 7.50 ~ 7.44 (1H, m, H-7), 7.25 (1H, s, H-2), 3.96 (3H, s, 3-OCH₃), 8.19 (1H, dd, $J=7.9, 1.6$ Hz, H-8); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 175.2 (C-9), 155.9 (C-1), 155.8 (C-3), 152.3 (C-4a), 147.0 (C-4b), 135.1 (C-6), 126.1 (C-8), 56.8 (3-OCH₃), 124.6 (C-7), 121.0 (C-5), 56.1 (2-OCH₃), 118.1 (C-8a), 114.2 (C-9a), 104.9 (C-2), 100.7 (C-4)。以上数据与文献 [16] 基本一致, 故鉴定为 2, 3-dimethoxyxanthone。

化合物 9: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 289.023 1 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.70 (1H, t, $J=8.3$ Hz, H-6), 6.79 (1H, d, $J=8.3$ Hz, H-7), 3.85 (3H, s, 7-

OCH₃), 7.09 (2H, d, $J=11.1$ Hz, H-1, 5), 3.88 (3H, s, 6-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 181.5 (C-9), 161.1 (C-3), 156.1 (C-2), 150.7 (C-5), 143.5 (C-4), 142.4 (C-7), 140.1 (C-4a), 95.2 (C-8), 137.3 (C-4b), 115.7 (C-6), 108.1 (C-9a), 56.3 (7-OCH₃), 110.2 (C-8a), 107.7 (C-1), 61.0 (6-OCH₃)。以上数据与文献 [16] 基本一致, 故鉴定为 1, 5-dihydroxy-6, 7-dimethoxyxanthone。

化合物 10: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 245.045 1 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.24 (1H, t, $J=7.9$ Hz, H-6), 6.18 (1H, s, H-4), 6.39 (1H, s, H-2), 7.30 (1H, d, $J=8.0$ Hz, H-7), 7.53 (1H, d, $J=7.9$ Hz, H-8); ^{13}C -NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 179.9 (C-9), 162.8 (C-1), 157.3 (C-3), 98.3 (C-2), 146.2 (C-5), 144.8 (C-4a), 129.7 (C-4b), 124.0 (C-7), 114.4 (C-9a), 120.9 (C-8), 120.5 (C-6), 101.8 (C-8a), 94.2 (C-4)。以上数据与文献 [18] 基本一致, 故鉴定为 1, 3, 5-trihydroxyxanthone。

化合物 11: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 245.045 2 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.30 ~ 7.24 (1H, m, H-5), 12.91 (1H, s, 1-OH), 7.46 (1H, d, $J=9.0$ Hz, H-8), 7.40 (1H, s, H-6), 6.32 (1H, s, H-2), 6.16 (1H, s, H-4); ^{13}C -NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 179.4 (C-9), 166.8 (C-1), 162.8 (C-3), 157.6 (C-7), 153.9 (C-4a), 148.9 (C-4b), 124.3 (C-6), 120.4 (C-5), 118.9 (C-8a), 108.0 (C-8), 93.9 (C-4), 101.6 (C-9a), 98.1 (C-2)。以上数据与文献 [19] 基本一致, 故鉴定为 1, 3, 7-trihydroxyxanthone。

化合物 12: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 259.061 4 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.58 ~ 7.53 (1H, m, H-6), 12.87 (1H, s, 1-OH), 3.87 (3H, s, 3-OCH₃), 7.49 (1H, m, H-5), 6.15 (1H, s, H-4), 6.32 (1H, s, H-2), 7.43 (1H, m, H-8); ^{13}C -NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 179.0 (C-9), 167.7 (C-3), 162.7 (C-1), 157.5 (C-7), 155.6 (C-4a), 150.0 (C-4b), 124.2 (C-8), 120.3 (C-8a), 98.5 (C-2), 119.2 (C-9a), 105.4 (C-6), 101.4 (C-5), 55.7 (3-OCH₃), 94.2 (C-4)。以上数据与文献

[20] 基本一致, 故鉴定为 1, 7-dihydroxy-3-methoxyxanthone。

化合物 **13**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 453.101 2 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 3.79 (3H, s, 6-OCH₃), 6.83 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-2'), 6.65 (1H, s, H-7), 7.65 (1H, d, J = 8.9 Hz, H-1), 6.91 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5'), 6.41 (1H, s, H-5), 7.08 (2H, m, H-2, 6'), 5.14 (1H, d, J = 7.9 Hz, H-7'), 3.90 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.72 (1H, d, J = 7.9 Hz, H-9'), 4.38 (1H, m, H-8'); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 179.0 (C-9), 166.3 (C-6), 162.6 (C-8), 157.2 (C-4b), 149.2 (C-4a), 147.7 (C-3'), 147.3 (C-4'), 145.7 (C-3), 131.6 (C-4), 126.6 (C-1'), 120.7 (C-6'), 116.8 (C-1), 115.4 (C-5'), 114.2 (C-9a), 114.0 (C-2), 59.9 (C-9'), 111.9 (C-2'), 56.2 (6-OCH₃), 102.7 (C-8a), 55.7 (3'-OCH₃), 97.4 (C-7), 92.8 (C-5), 78.0 (C-8'), 76.6 (C-7')。以上数据与文献 [9] 基本一致, 故鉴定为 3-methoxy-5'-demethoxycadesin G。

化合物 **14**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 259.061 4 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (500 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.27 (1H, t, J = 7.9 Hz, H-3), 12.70 (1H, s, 1-OH), 7.08 (1H, d, J = 9.0 Hz, H-4), 7.36 (1H, dd, J = 7.9, 1.6 Hz, H-6), 3.86 (3H, s, 2-OCH₃), 7.57 (1H, d, J = 9.1 Hz, H-8), 7.60 (1H, dd, J = 7.9, 1.6 Hz, H-7); ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 149.1 (C-1), 149.8 (C-2), 142.1 (C-4b), 146.4 (C-5), 114.6 (C-3), 120.2 (C-6), 120.9 (C-7), 145.5 (C-4a), 124.0 (C-8), 106.0 (C-9a), 56.8 (2-OCH₃), 121.8 (C-8a), 182.7 (C-9), 108.3 (C-4)。以上数据与文献 [21] 基本一致, 故鉴定为 1, 5-dihydroxy-2-methoxyxanthone。

化合物 **15**: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 259.051 1 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.76 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5), 3.94 (3H, s, 6-OCH₃), 7.66 (1H, t, J = 8.3 Hz, H-3), 7.41 (1H, s, H-8), 12.84 (1H, s, 1-OH), 7.18 (1H, s, H-4); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 180.8 (C-9), 107.4 (C-8), 136.9 (C-3), 161.1 (C-6), 156.3 (C-1), 151.7 (C-4b), 156.1 (C-7), 145.0 (C-4a), 107.6 (C-

4), 113.1 (C-8a), 110.1 (C-9a), 56.8 (2-OCH₃), 108.1 (C-2), 100.5 (C-5)。以上数据与文献 [22] 基本一致, 故鉴定为 1, 7-二羟基-6-甲氧基氧杂蒽酮。

4 抑菌活性研究

4.1 最小抑菌浓度(MIC)测定 参考文献[9, 23]方法, 采用微量稀释法稀释紫色色素杆菌 ATCC 12472 和铜绿假单胞菌 PAO1 菌液, 接种于 96 孔板中; 将各化合物溶解于 DMSO 中, 配制成质量浓度为 40 mg/mL 的母液, 加入 96 孔板中, 倍比稀释使终质量浓度为 500、250、125、62.5、31.25 μ g/mL, 同时设置庆大霉素作为阳性对照。菌株恒温培养 24 h 后, 观察并统计各化合物以及阳性对照药物的 MIC 值。结果显示, 化合物 **1~15** 对铜绿假单胞菌的 MIC 值均大于 500 μ g/mL, 阳性药庆大霉素对紫色色杆菌和铜绿假单胞菌的 MIC 值均为 1 μ g/mL。

4.2 群感效应介导的紫色色素合成抑制活性测定 参考文献 [9] 方法, 采用微量稀释法, 于 30 $^{\circ}$ C 培养紫色色杆菌 24 h 后, 收集菌液, 离心, 弃上清液, 在细菌沉淀中加入 DMSO, 菌体超声破碎, 释放出紫色色素后再次离心, 吸取上清液并测定吸光度, 计算紫色色素抑制率。结果, 化合物 **1**、**7**、**10** 和 **13** 对紫色色素的形成呈梯度抑制效果, 在质量浓度为 250 μ g/mL 时, 对紫色色杆菌色素形成的抑制率分别为 88.35% $\pm$ 3.05%、81.61% $\pm$ 2.67%、93.04% $\pm$ 4.20%、84.51% $\pm$ 3.11%; 亚抑制质量浓度 (0.5 μ g/mL) 下, 阳性药庆大霉素对紫色色杆菌色素的抑制率为 87.12% $\pm$ 3.58%。

5 讨论

本研究从碟花金丝桃 90% 乙醇提取物中分离鉴定出 15 个 xanthones 类化合物, 均为首次从该植物中分离得到, 有效填补了碟花金丝桃物质基础研究的空白, 丰富了金丝桃属 xanthones 类天然产物资源库, 为该植物的进一步开发利用提供了基础实验依据, 也印证该植物是 xanthones 类天然产物的重要资源。体外抑菌实验结果表明, 化合物 **1~15** 对紫色色杆菌和铜绿假单胞菌的 MIC 值均大于 500 μ g/mL, 证实在实验设置的浓度范围内, 化合物不具备明显的直接抗菌作用。紫色色杆菌色素定量实验结果表明, 在亚抑制浓度下, 化合物 **1**、**7**、**10** 和 **13** 对紫色色杆菌色素的产生呈现出浓度依赖性抑制效果; 在化合物质量浓度为 250 μ g/mL 时, 对紫色色杆菌色素的抑制率分别为 88.35% $\pm$

3.05%、81.61% ± 2.67%、93.04% ± 4.20% 和 84.51%±3.11%，该作用效果与亚抑制质量浓度（0.5 μg/mL）下阳性对照庆大霉素的紫色素抑制率（87.12%±3.58%）相当，表现出良好的群感效应抑制活性，其中化合物 **10** 抑制效果最优，抑制率达 93.04%±4.20%，活性优于亚抑菌浓度下的阳性对照庆大霉素。以上实验结果表明，碟花金丝桃植物中富含的 xanthones 类化合物可作为潜在群感效应抑制剂，区别于传统抗生素直接杀伤细菌的作用模式，以细菌群感效应通路为作用靶点，在不影响菌体正常生长的前提下，下调毒力因子表达，既能有效减弱细菌的致病能力，又可大幅度降低细菌耐药性产生的风险，是新型抗感染药物的理想研究方向。综合来看，化合物 **1**、**7**、**10** 和 **13** 是碟花金丝桃中发挥群感效应抑制作用的主要活性单体。本实验结果为后续从该属植物中开发新型抗耐药菌感染候选药物，深入探究 xanthones 类化合物的作用靶点与分子作用机制奠定了实验依据，同时进一步印证了金丝桃属植物的开发潜力，凸显了其作为群感效应抑制化合物来源的重要性。但本研究仍存在一定不足：仅开展体外初步活性筛选，未阐明活性化合物调控细菌群感效应系统的分子机制，缺乏基因、蛋白水平的机制验证；同时未开展体内药效及安全性评价，且受试菌株种类有限，无法全面反映该类成分的抗菌应用潜力。后续可进一步探究活性化合物对群感效应核心调控基因的影响，明确其分子作用通路，扩大受试耐药菌株范围，并通过体内实验验证药效与安全性，筛选成药性更优的候选单体，为新型抗耐药菌天然药物的研发提供理论支撑。

参考文献：

[1] Xie J Y, Hu W L, Feng X, *et al.* Synthesis and antimicrobial applications of alpha-peptoid polymers[J]. *Chem Sci*, 2025, 16(28): 12679-12701.

[2] Chen X, Lou W Y, Liu J X, *et al.* A novel antimicrobial polymer efficiently treats multidrug-resistant MRSA-induced bloodstream infection[J]. *Biosci Rep*, 2019, 39(10): BSR20192354.

[3] Coppola D, Buonocore C, Palisse M, *et al.* Exploring oceans for curative compounds: Potential new antimicrobial and anti-virulence molecules against *Pseudomonas aeruginosa*[J]. *Mar Drugs*, 2022, 21(1): 9.

[4] Qiu N N, Liu W L, Zhang X L. Based on quorum sensing: reverse effect of traditional Chinese medicine on bacterial drug resistance mechanism[J]. *Front Cell Infect Microbiol*, 2025,

15: 1582003.

[5] Bessa L J, Botelho J, Machado V, *et al.* Managing oral health in the context of antimicrobial resistance[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(24): 16448.

[6] 杨 兰, 魏 莹, 张 帆, 等. 遍地金的生药学鉴定、化学成分和药理活性研究概况[J]. *中国药房*, 2019, 30(4): 565-570.

[7] Kurniawan Y S, Priyanga K, Jumina, *et al.* An update on the anticancer activity of xanthone derivatives: a review[J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2021, 14(11): 1144.

[8] Masters K S, Brase S. Xanthoness from fungi, lichens, and bacteria: the natural products and their synthesis[J]. *Chem Rev*, 2012, 112(7): 3717-3776.

[9] 何秋映. 弯萼金丝桃氧杂蒽酮类分离鉴定及抑制群感效应活性研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022.

[10] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志（第 50 卷第 2 分册）[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[11] Tanaka N, Takaishi Y, Shikishima Y, *et al.* Prenylated benzophenones and xanthoness from *Hypericum scabrum*[J]. *J Nat Prod*, 2004, 67(11): 1870-1875.

[12] Rath G, Potterat O, Mavi S, *et al.* Xanthoness from *Hypericum roeperanum*[J]. *Phytochemistry*, 1996, 43(2): 513-520.

[13] Fernandes E G R, Silva A M S, Cavaleiro J A S, *et al.* ¹H and ¹³C NMR spectroscopy of mono-, di-, tri- and tetrasubstituted xanthoness[J]. *Magn Reson Chem*, 1998, 36(4): 305-309.

[14] Hay A E, Aumond M C, Mallet S, *et al.* Antioxidant xanthoness from *Garcinia vieillardii*[J]. *J Nat Prod*, 2004, 67(4): 707-709.

[15] Cao T T, Huang R Y, Li X, *et al.* Xanthoness from *Calophyllum Polyanthum* Wallich ex Choisy with CYP1 enzymes inhibitory activity[J]. *Chem Biodivers*, 2022, 19(6): e202200268.

[16] 周献冬, 林亲雄, 杨新洲. 贵州金丝桃的化学成分研究[J]. *云南大学学报（自然科学版）*, 2022, 44(6): 1272-1279.

[17] 刘荣华, 温新潮, 李于益, 等. 交趾黄檀化学成分研究[J]. *中药材*, 2015, 38(9): 1868-1871.

[18] 刘 娇, 张海新, 韩 玉, 等. 穿心草吡喃酮类化学成分及抗炎活性研究[J]. *中草药*, 2023, 54(23): 7723-7729.

[19] 纳 智, 许又凯. 版纳藤黄化学成分的研究[J]. *中国中药杂志*, 2009, 34(18): 2338-2342.

[20] 高瑞锡, 梅枝意, 黄先菊, 等. 黄秦艽根化学成分研究[J]. *中草药*, 2018, 49(3): 521-529.

[21] Tala M F, Talontsi F M, Zeng G Z, *et al.* Antimicrobial and cytotoxic constituents from native Cameroonian medicinal plant *Hypericum riparium*[J]. *Fitoterapia*, 2015, 102: 149-155.

[22] de Oliveira W G, Mesquita A A L, de Lima R A, *et al.* Xanthoness from *Tovomita excelsa*[J]. *Phytochemistry*, 1984, 23(10): 2390-2391.

[23] Geng Y F, Yang C, Zhang Y, *et al.* An innovative role for luteolin as a natural quorum sensing inhibitor in *Pseudomonas aeruginosa*[J]. *Life Sci*, 2021, 274: 119325.